

К. В. Хацевский,
Омский государственный технический университет – ОмГТУ, Омск,
Россия

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

The results of researches for the ore-smelting electrothermal furnaces for increase of efficiency of its work are considered in this article.

Рудовосстановительные электропечи (РВП) относятся к самым мощным потребителям электроэнергии в промышленности. Номинальные мощности эксплуатируемого электротехнологического оборудования такого типа, в особенности электропечей ферросплавного производства, достигает 100 МВА. Поэтому решение проблем оптимизации режимов работы рудовосстановительных печей является важнейшим направлением работ не только в России, но и в других странах, где эксплуатируются такие электропечи. Производство товарной продукции в современных РВП основано на комплексных электротехнологических процессах, которые определяются сложными нелинейными взаимосвязями электрических, термодинамических, химических, газо- гидродинамических параметров, самоустанавливающихся в рабочем пространстве электропечей.

Для выявления определяющих взаимосвязей параметров электро- и теплофизических процессов был проведен качественный анализ процессов в пространственно-распределенной трехфазной системе преобразования электрической энергии в тепловую, которая реализуется в обобщенной РВП [1, 2]. Анализ экспериментальных результатов исследования промышленных РВП показал, что фактическое формирование электрических и магнитных полей в рабочем пространстве электропечей определяется соотношением фазных и линейных объемно-распределенных активных и реактивных электрических сопротивлений. Полное описание такой системы электрической схемой замещения с сосредоточенными параметрами практически невозможно из-за

неопределенности и резко выраженных нелинейностей сопротивлений, их взаимосвязей и многофункциональности зависимостей локальных параметров в объеме рабочего пространства.

Экспериментальными исследованиями установлено, что, несмотря на многообразие технологических процессов, объединенных общими принципами (многошлаковости или бесшлаковости), реализованные технологические процессы в оптимальных режимах имеют минимальный уровень преобразования электрической энергии в тепловую во всех областях рабочего пространства электропечей, лежащих за пределами диаметра распада электродов. Это обеспечивает концентрацию вводимой энергии непосредственно под электродом (фазное напряжение) и между электродами (линейное напряжение). Такое представление рабочего процесса позволило заформализовать схему замещения РВП как электротехнологического агрегата с выделением четырех обобщенных областей преобразования вводимой в рабочее пространство электрической энергии в тепловую – электрическая дуга в подэлектродном пространстве (фазное сопротивление R_d), протекание тока в стенках реакционного тигля (фазное сопротивление R_T), протекание тока через шихту между электродами (линейное сопротивление $R_{ш}$) и протекание тока от каждого электрода через шихту на стены футеровки с последующим замыканием на фазное или линейное напряжение (обобщенное сопротивление $R_{ст}$).

На основании этого принципиального положения дальнейший анализ режимов работы промышленных электропечей проводился на основе характеристик соотношения сопротивлений возможных путей протекания токов и, следовательно, соотношений тепловых энергий (мощностей), выделяющихся в шлаке, расплаве, дуге, тигле и контакте «электрод – расплав». Структура рабочего пространства, прилегающего к электроду, разделяется на тигель (газоплазменную полость), область полутвердой шихты (магму) и область электропроводной шихты со значительным градиентом температуры.

Проведенные исследования позволили сформулировать основные положения, которым подчиняются различные РВП, работающие в промышленности.

1. В рабочих (оптимальных) режимах РВП обеспечивается самоподдержание газовых полостей и закрытой стабильной дуги.

2. Дуга горит в атмосфере паров компонентов перерабатываемых продуктов, углерода и монооксида углерода. Это определяет рабочую температуру электрода и градиент потенциала в столбе дуги. Оценка для большинства процессов показала, что давление в разрядном объеме составляет 0,4–0,5 МПа. Это сближает параметры РВП до квазиравенства для различных технологических процессов, а дифференциальное сопротивление дуги (плазменной полости) $R_0 = \Delta U / \Delta I$ для всех рудовосстановительных процессов практически постоянно и не зависит от мощности дуги ($R_0 = \Delta U / \Delta I \approx \text{const}$). Термодинамический анализ восстановительных реакций, протекающих в этих областях рабочего пространства показал, что температура на стенках тигля для любого из рудовосстановительных процессов, оптимальна, постоянна и самоподдерживается, т. к. любое поступление энергии в эту область компенсируется дополнительным развитием эндотермических реакций.

При изменениях вводимой в эту зону мощности сохраняется квазистационарный температурный режим с одновременным изменением геометрических размеров реакционного объема РВП.

3. Анализ балансовых уравнений установил, что при снижении мощности электропечи путем снижения фазного напряжения наблюдается квазипропорциональное уменьшение объемной плотности тепловыделения q_v во всех зонах рабочего пространства электропечи; по мере развития электротепловых процессов происходит перераспределение энерговыделений между газоплазменной полостью и реакционным тиглем, геометрические параметры этих зон (диаметры, радиальная протяженность и высота) самосогласованно уменьшаются до размеров, обеспечивающих увеличение объемной плотности тепловыделения в газоплазменной полости (q_v) до

значений, характеризующих работу в номинальном режиме; допускаемая кратность снижения мощности электропечи ($P/P_{\text{ном}}$), обеспечивающая эксплуатацию в длительном безаварийном режиме, определяется условиями существования газоплазменной полости и квазипостоянством энергообмена между газоплазменной полостью и внутренней поверхностью реакционного тигля (удельная поверхностная мощность $q_s \approx \text{const}$).

4. Анализ энергообменных процессов на рабочем торце самоспекающегося электрода РВП при снижении вводимой мощности показал, что в переходном электрическом режиме появляется радиальный градиент температуры на рабочем торце электрода, это сопровождается перемещением коллективного катодного пятна по торцу электрода и изменением частотных составляющих протекающего тока (коэффициент искажения тока изменяется от среднестатистического значения 0,95 до 0,9 и ниже).

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработана методика определения рациональных режимов работы сверхмощных рудовосстановительных электропечей в нестационарных условиях их эксплуатации, позволяющая достигать более высоких эксплуатационных показателей предприятия и обеспечивающая минимальное расстройство технологического процесса печей при работе с ограничениями мощности.

1. Хацевский, К. В. Энергосбережение и оптимизация электротехнологий металлургического производства / К. В. Хацевский // Система управления экологической безопасностью: Сб. тр. X заочной междунар. науч.-практ. конф. – Екатеринбург: УрФУ, 2016. – С. 226–229.

2. Хацевский, К. В. Современные энергосберегающие технологии и установки электронагрева [монография] / К. В. Хацевский, Т. В. Гоненко, В. Ф. Хацевский. – Павлодар : Изд-во Кереку, 2014. – 166 с.